

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Автор:
Холоімов Валерій

27 октября 2021 г.

1 Опис методу

1.1 Абсолютно чорне тіло

Будь-яке тіло в природі, температура якого вища за абсолютний нуль, є джерелом теплового випромінювання. Теплове випромінювання являє собою електромагнітні хвилі (ЕМХ), що випромінюються за рахунок перетворення енергії

Абсолютно чорним тілом (АЧТ) називають уявне тіло, яке *поглинає* все електромагнітне випромінювання в усіх його діапазонах і *нічого не відбиває*. У той же час, АЧТ, як і будь-яке інше тіло, випромінює електромагнітні хвилі, тобто є джерелом теплового випромінювання. Спектр випромінювання АЧТ визначається лише його температурою.

Енергетична світність АЧТ залежить лише від його температури і визначається *законом Стефана-Больцмана*

$$j = \sigma T^4$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 K^4}$ - стала стала Стефана-Больцмана.

Потік теплового випромінювання (потужність випромінювання) з усієї поверхні тіла пропорційний площі S цієї поверхні:

$$W = S \cdot j$$

1.2 Спектр випромінювання АЧТ. Формула Планка

Випромінювальна здатність тіла - Енергія, що випромінюється за одиницю часу з одиниці площі поверхні тіла у вигляді ЕМХ, довжини яких лежать в межах вузького інтервалу $d\lambda$ поблизу довжини хвилі λ .

$$r_\lambda = \frac{dE}{t \cdot S \cdot d\lambda}$$

де dE - енергія, що випромінюється тілом з площею поверхні S за проміжок часу t у вигляді ЕМХ, довжини хвиль яких лежать в інтервалі $[\lambda, \lambda + d\lambda]$.

Аналогічно, можна ввести випромінювальну здатність r_ν на лінійній частоті ν та випромінювальну здатність r_ω на циклічній частоті ω . Усі три випромінювальні здатності пов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$r_\lambda d\lambda = r_\nu d\nu = r_\omega d\omega$$
$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}; d\omega = 2\pi d\nu = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} d\lambda$$

Спектром випромінювання тіла називають залежність його випромінювальної здатності r_λ від довжини хвилі λ . Спектр випромінювання АЧТ описується формулою Планка для випромінювальної здатності:

$$r_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1}$$

Для АЧТ довжина хвилі, що відповідає максимальній випромінювальній здатності, залежить лише від його температури і визначається законом зміщення Віна:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

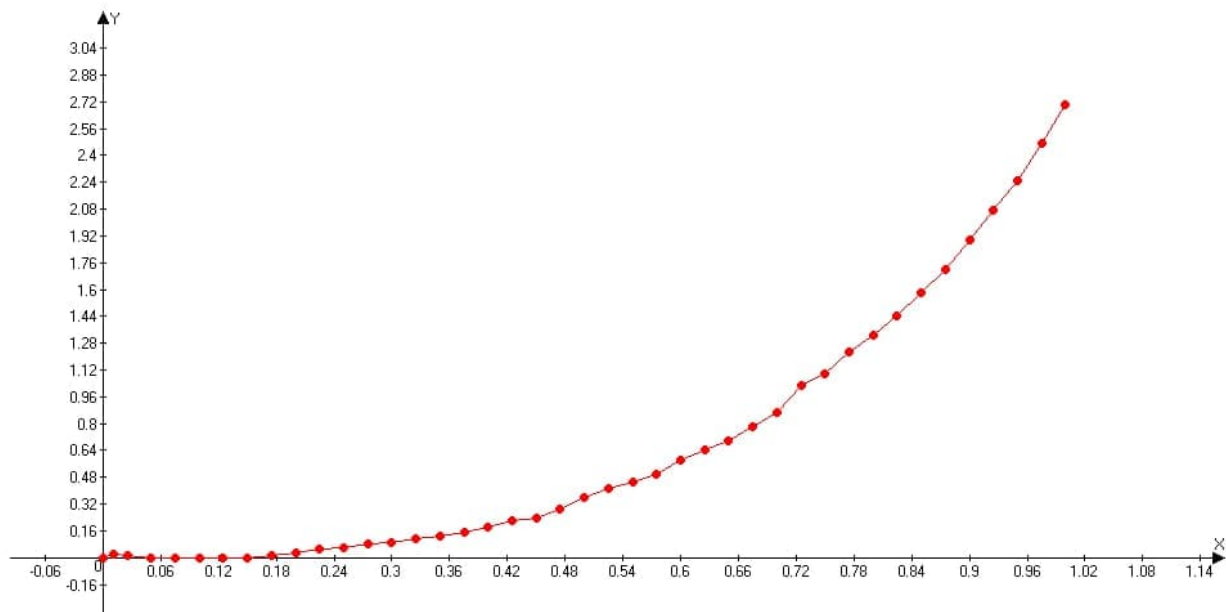
де $b = 2898 mkT \cdot K$ - стала Віна

2 Практична частина

Отримані значення

0	0	180	0,5	380	0,29	580	1,03
9	0,02	200	0,6	400	0,36	600	1,1
20	0,01	220	0,8	420	0,41	620	1,23
40	0	240	0,9	440	0,45	640	1,33
60	0	260	0,11	460	0,5	660	1,44
80	0	280	0,13	480	0,58	680	1,58
100	0	300	0,15	500	0,64	700	1,72
120	0	320	0,18	520	0,7	720	1,9
140	0,1	340	0,22	540	0,78	740	2,07
160	0,3	360	0,24	560	0,87	760	2,25
						780	2,47
						800	2,7

Графік для табличних значень



Графік з апроксимацією виду $y = a + b \cdot x^4$

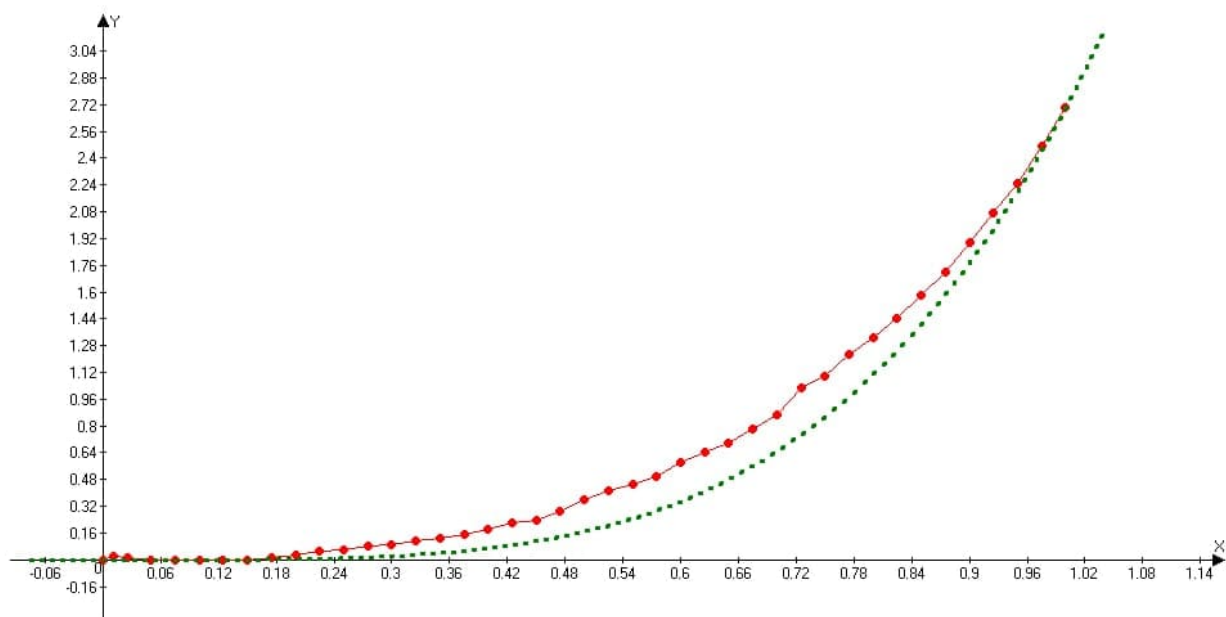


Рис. 1: На даному графіку $a = 0; b = 2.7$

Графік з апроксимацією виду $y = a + bx + d \cdot x^4$

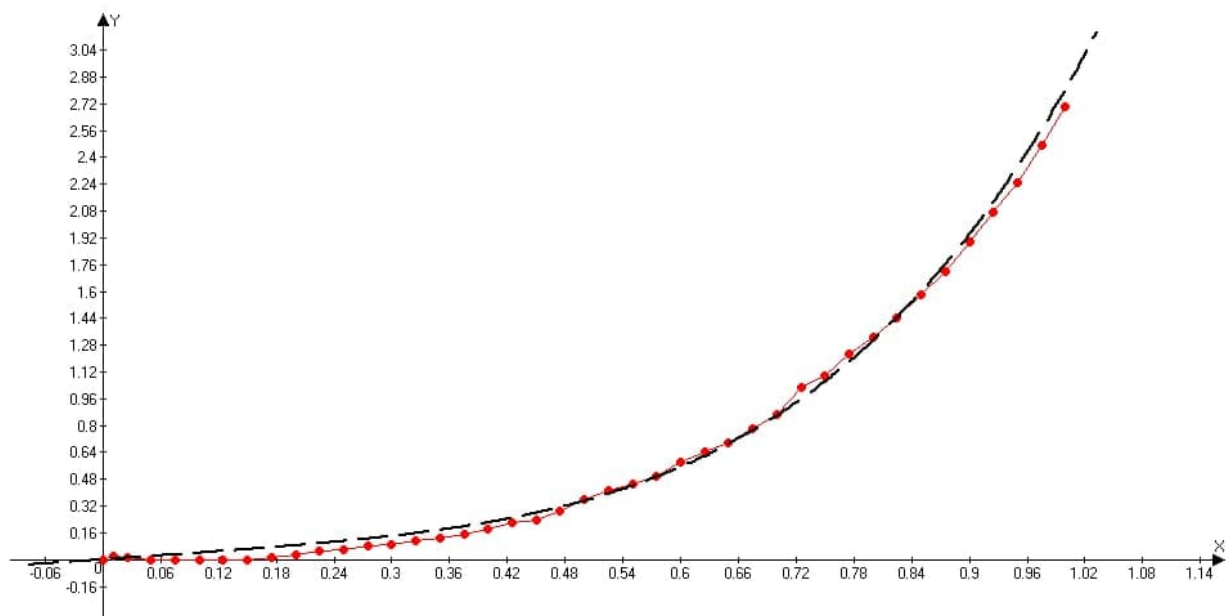


Рис. 2: На даному графіку $a = 0; b = 0.4; d = 2.4$

3 Висновок

З отриманих графіків з проведеною апроксимацією видно, що формула $U_{TC} = C_1 + C_2x + C_3x^4$ точніше описує випромінювання електропічки.

Додаткові доданки, у порівнянні з законом Стефана-Больцмана з'являються через втрати теплової енергії через теплопровідність, а також через не повну відповідність пічки абсолютно чорному тілу.

4 Контрольні запитання

4.1 Абсолютно чорне тіло. Приклади тіл, близьких за своїми властивостями до АЧТ. Моделі АЧТ.

Абсолютно чорним тілом (АЧТ) називають уявне тіло, яке *поглинає* все електромагнітне випромінювання в усіх його діапазонах і *нічого не відбиває*. У той же час, АЧТ, як і будь-яке інше тіло, випромінює електромагнітні хвилі, тобто є джерелом теплового випромінювання. Спектр випромінювання АЧТ визначається лише його температурою.

Прикладом АЧТ можна вважати Сонце, оскільки зірка має властивості, що близькі до властивостей АЧТ.

Практичною моделлю АЧТ може бути порожнина з невеликим отвором і пофарбованими у чорний колір стінками, адже світло, потрапивши крізь отвір в порожнину, буде багаторазово відбиватися і поглинатися.

4.2 Випромінювальна здатність тіла. Спектр випромінювання. Зв'язок між різними видами подання спектрів випромінювання

Випромінювальна здатність тіла - Енергія, що випромінюється за одиницю часу з одиниці площі поверхні тіла у вигляді ЕМХ, довжини яких лежать в межах вузького інтервалу $d\lambda$ поблизу довжини хвилі λ .

$$r_\lambda = \frac{dE}{t \cdot S \cdot d\lambda}$$

де dE - енергія, що випромінюється тілом з площею поверхні S за проміжок часу t у вигляді ЕМХ, довжини хвиль яких лежать в інтервалі $[\lambda, \lambda + d\lambda]$.

Аналогічно, можна ввести випромінювальну здатність r_ν на лінійній частоті ν та випромінювальну здатність r_ω на циклічній частоті ω . Усі три випромінювальні здатності пов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$r_\lambda d\lambda = r_\nu d\nu = r_\omega d\omega$$

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}; d\omega = 2\pi d\nu = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} d\lambda$$

Спектром випромінювання тіла називають залежність його випромінювальної здатності r_λ від довжини хвилі λ . Спектр випромінювання АЧТ описується формулою Планка для випромінювальної здатності:

$$r_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1}$$

Для АЧТ довжина хвилі, що відповідає максимальній випромінювальній здатності, залежить лише від його температури і визначається законом зміщення Віна:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

де $b = 2898 \text{ mK}$ - стала Віна

4.3 Закон Кіргофа для непрозорих тіл

Згідно закону Кіргофа, для нечорного тіла можна записати

$$r_{\lambda} = a_{\lambda T} \cdot r_{\lambda}^{A4T}$$

де $a_{\lambda T}$ - поглинальна здатність тіла, яка залежить від температури тіла і довжини хвилі випромінювання. Поглинальною здатністю тіла $a_{\lambda T}$ називають долю поглинутої тілом енергії випромінювання, що падає на нього у вигляді ЕМХ, довжини хвиль яких лежать в інтервалі $[\lambda, \lambda + d\lambda]$. Для АЧТ поглинальна здатність тотожно дорівнює одиниці, для всіх реальних тіл $0 < a_{\lambda T} < 1$.

Словами закон Кіргофа можна сформулювати наступним чином:

Відношення випромінювальної здатності будь-якого тіла до його поглинальної здатності однакове для усіх тіл при заданій температурі та заданій довжині хвилі (частоти) і не залежить від їх хімічної природи.

4.4 Поглинальна здатність тіла, її залежність від температури тіла та частоти випромінювання. Теплове випромінювання нечорних тіл. Залежність потужності теплового випромінювання нечорних тіл від температури

Згідно закону Кіргофа, для нечорного тіла можна записати

$$r_{\lambda} = a_{\lambda T} \cdot r_{\lambda}^{A4T}$$

де $a_{\lambda T}$ - поглинальна здатність тіла, яка залежить від температури тіла і довжини хвилі випромінювання. Поглинальною здатністю тіла $a_{\lambda T}$ називають долю поглинутої тілом енергії випромінювання, що падає на нього у вигляді ЕМХ, довжини хвиль яких лежать в інтервалі $[\lambda, \lambda + d\lambda]$. Для АЧТ поглинальна здатність тотожно дорівнює одиниці, для всіх реальних тіл $0 < a_{\lambda T} < 1$.

У випадку ідеально ізольованої системи формулу для випромінювання нечорного тіла можна записати:

$$W(T) = S \cdot \sigma \cdot \alpha(T) \cdot T^4$$

де $\alpha(T)$ - середня (усереднена за довжинами хвиль) поглинальна здатність нечорного тіла при температурі T .

4.5 Термо-ЕРС термостовпчик

Термостовпчик - пристрій, що складається з декількох термопар, які, зазвичай використовуючи ефект Зеєбека, генерують електричну напругу пропорційно до різниці температур. Один кінець термостовпчика знаходить назовні, тим самим реєструючи потужність теплового випромінювання, що виходить з отвору пічки при температурі

кімнатного повітря, а других реєструє потужність теплового випромінювання внутрішньої поверхні нагрітої пічки. Отримуємо формулу:

$$U_{TC} = k(W(T) - W(T_0))$$

де k - коефіцієнт пропорційності, який від температури не залежить.